第 37 卷第 21 期 2017 年 11 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.21 Nov.,2017

**DOI: 10.5846/stxb201608311779**

王静, 周伟奇, 许开鹏, 颜景理.京津冀地区城市化对植被覆盖度及景观格局的影响.生态学报,2017,37(21):7019-7029.

Wang J, Zhou W Q, Xu K P, Yan J L.Spatiotemporal pattern of vegetation cover and its relationship with urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei megaregion from 2000 to 2010.Acta Ecologica Sinica,2017,37(21):7019-7029.

# 京津冀地区城市化对植被覆盖度及景观格局的影响

王 静[1,2], 周伟奇[1,2,*], 许开鹏[3], 颜景理[1,2]

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 环境保护部环境规划院, 北京 100012

**摘要**:定量研究了 2000—2010 年,京津冀地区植被覆盖度及其景观格局的动态变化,揭示了城市化进程对植被景观的干扰过程及生态质量的影响。结果表明:(1)2000—2010 年,城市化进程显著是京津冀城市群土地变化的一大特点,人工表面面积从 2000 年的 $1.79\times10^4$ km$^2$增加至 $2.16\times10^4$ km$^2$,增幅高达 21.16%;(2)京津冀平均植被覆盖度呈增加趋势但不显著($P$=0.46),存在明显的时空动态差异。在覆盖度结构上形成了以中低和中植被覆盖度为主导的格局;(3)从景观空间格局变化来看,中低、高覆盖度区域植被景观更加破碎,而低、中等覆盖度区域的植被面积增加,景观破碎度减小;尤其是低植被覆盖度为主的城市区域,景观格局变化幅度大,表现为绿地面积有所增加,景观破碎化程度降低,生态质量有所改善;(4)在整个研究区范围,城市化对区域植被覆盖度存在负面影响,表现为城市化程度与区域平均植被覆盖度存在负相关($P$=0.08);但是在低植被覆盖度的区域(主要为城市区域),城市化程度与植被覆盖面积呈显著正相关($P$<0.001),表明城市区域在城市化进程中植被覆盖面积有所提高,生态质量有所改善,与城市化过程中,日益重视城市绿地的建设有关。

**关键词**:京津冀;植被覆盖度;城市化;时空动态;景观格局

# Spatiotemporal pattern of vegetation cover and its relationship with urbanization in Beijing-Tianjin-Hebei megaregion from 2000 to 2010

WANG Jing[1,2], ZHOU Weiqi[1,2,*], XU Kaipeng[3], YAN Jingli[1,2]

1 *State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100085, *China*

2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*

3 *Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing* 100012, *China*

**Abstract**: Accelerated urbanization and socio-economic development can cause a series of environmental problems, such as decreased ecological quality. Accurately and efficiently quantifying the effects of urbanization on vegetation is critical for understanding regional ecological conservation and achieving sustainable development. Previous studies have primarily focused on the spatiotemporal patterns of vegetation cover and its relationship with climatic factors. Here, we quantified the spatiotemporal patterns of vegetation cover from 2000 to 2010 in the Beijing-Tianjin-Hebei megaregion. We then analyzed the effects of urbanization on vegetation cover dynamics. We used MODIS data and Landsat TM data. We found that (1) during the study period, urban land expanded very rapidly in this megaregion. The area of built-up lands increased from $1.79\times10^4$ km$^2$ in 2000 to $2.16\times10^4$ km$^2$ in 2010, which is an increase of 21.16%. (2) There was a slight but insignificant ($P$= 0.45) increasing trend in vegetation coverage from 2000 to 2010. The region was dominated by low-medium and

**基金项目**:国家自然科学基金重大项目(41590841);全国生态环境十年变化(2000—2010 年)遥感调查与评估项目(STSN-12-01);环境保护部专项(2110203)

**收稿日期**:2016-08-31; **网络出版日期**:2017-07-11

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: wzhou@rcees.ac.cn

medium coverage vegetation. (3) There were similarities and differences in the spatiotemporal patterns among different types of vegetation with varied levels of vegetation density. For vegetation types with low to medium and high vegetation density, fragmentation of vegetation increased from 2000 to 2010. In contrast, for vegetation types with low and medium vegetation density, the landscape pattern became more aggregated rather than fragmented in regions covered with these types of vegetation. (4) The proportional cover of developed land and vegetation coverage showed negative correlations ($P$= 0.08). However, the proportional cover of developed land showed a significantly positive relationship with the proportion of area covered by vegetation types with low vegetation density ($P$<0.001).

**Key Words**: Beijing-Tianjin-Hebei; vegetation cover; urbanization; spatiotemporal dynamics; landscape pattern

城市化是全球现代化进程的普遍现象,是表征社会进步和经济发展的重要指标。城市规模的扩大,提升了城市容纳能力,促进了经济的发展,提高了居民的生活质量。然而城市化也可能带来一系列的负面影响,尤其是生态环境的变化。在城市化进程中,人口增长、经济发展、资源能源消耗和地域扩张均对生态环境产生胁迫作用。快速的城市化伴生了一系列的城市环境恶化问题,并导致城市及周边地区生态质量降低[1-2]。因此,城市化和生态环境的关系成为学者们关注的焦点[3-10]。

植被作为生态系统的重要组成部分,对人类的生存环境起着不可替代的作用。而人类社会经济活动对植被的影响显著,人类从自然界获取大量资源,导致植被破坏、森林消失,生态质量下降。自 20 世纪中后期,全球森林与草原植被的迅速减少,生态危机日益加重,严重影响着人类的生存和发展所必须的环境条件[11]。随着生态环境问题的加剧和社会经济的发展,人类开始重视周围的生存环境,并努力去改善恶化的生态环境,如通过植树造林、退耕还林、城市绿地建设等,提高植被覆盖度,以此提升人类的生存质量[12-13]。随着全球城市化进程不断加快,近年来,城市化对植被覆盖度的影响受到国内外科学家的广泛关注[8,14-17]。植被覆盖度是指植被冠层在地面上的垂直投影面积与土地面积的百分比,是衡量地面植被特征及区域生态环境质量的重要指标[18-19]。植被覆盖度的计算基于归一化植被指数(NDVI),能够在一定程度上弥补归一化植被指数对于低覆盖度植被难以区分、而对高覆盖植被易于饱和的不足,从而有效地拉伸植被信息的值域[20]。因此,与归一化植被指数相比,植被覆盖度能更好的表征植被盖度的信息。城市发展对于生态环境的影响,可能存在正面和负面的作用。一方面,城市人口的增加、建设用地的扩张,会侵占大量的生态用地,减少植被覆盖,进而可能导致城市及周边地区生态质量下降等生态问题[21-22];与此同时,城市发展带来的社会、经济的发展,以及人们生态环境保护意识的提高,会促使在城市建设过程中加强生态环境的保护,以及城市绿地等绿色基础设施的建设[23],从而提高城市及周边区域的生态环境质量[24]。目前,国内外对区域植被覆盖度的研究多集中于植被覆盖度的时空动态变化特征及定性分析城市化对植被覆盖度的负面影响,而关于城市化对不同等级植被覆盖度地区生态质量影响如何? 及建设用地变化与植被覆盖变化之间的定量研究还比较薄弱。

本文以京津冀地区为研究对象,运用 GIS 和遥感手段,通过研究植被覆盖度及其景观格局的动态变化,揭示了京津冀 2000—2010 年,城市化进程对不同植被景观的干扰过程及生态质量的影响,并剖析其演变规律。研究结果对城市规划建设、恢复和保护该区域生态环境,提高人民生活质量具有重要的现实意义。

## 1 研究区概况

京津冀包括北京、天津两个直辖市和河北省所辖的石家庄、承德、张家口、秦皇岛、唐山、廊坊、保定、沧州、衡水、邢台、邯郸等 13 个地级市(36°05′—42°40′N,113°27′—119°50′E)。国土总面积 $2.17\times10^5$ km$^2$,人口数量达到 $1.11\times10^8$ 人。该区属典型的温带半湿润半干旱季风气候,四季分明,春秋干旱多风,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥(图 1)。伴随着快速的城市化,京津冀地区成为中国区域经济增长最快、经济发展水平最高的地区之一,但日益提高的人类活动强度给生态系统带来了巨大压力,环境恶化趋势严重,从而对该区生境质量乃至可持续发展造成较大威胁。

## 2　数据来源与研究方法

### 2.1　植被覆盖度计算

植被覆盖度的计算基于美国国家航空航天局(NASA)数据信息服务中心(DISC)提供的 MODIS 数据产品,NDVI 数据(MOD13Q1)。该数据产品空间分辨率为 250×250 m,时间分辨率为 16 d,时间序列为 2000 年 2 月到 2010 年 12 月。MODIS 图像预处理包括大气校正、辐射校正、格式和投影转换,以及利用最大合成法(MVC)将 16 d 的 NDVI 数据合成为月均值,生成逐月数据集。植被覆盖度和 NDVI 之间存在线性关系,通过建立二者之间的转换关系,提取植被覆盖度信息。本研究采用基于像元二分模型设计的遥感估算方法,以 NDVI 值为参数,计算植被覆盖度。该方法技术路线简单、可操作性强,无需估算 LAI 等需要复杂推导的参数,且适用于不同植被类型[25]。具体来说,该方法假设像元包含植被和非植被两部分地表覆盖物构成,在像元的光谱信息中,两部分各自面积在像元中所占的比重即为该因子的权重,其中植被覆盖物所占像元的百分比则为像元的植被覆盖度。其公式为:

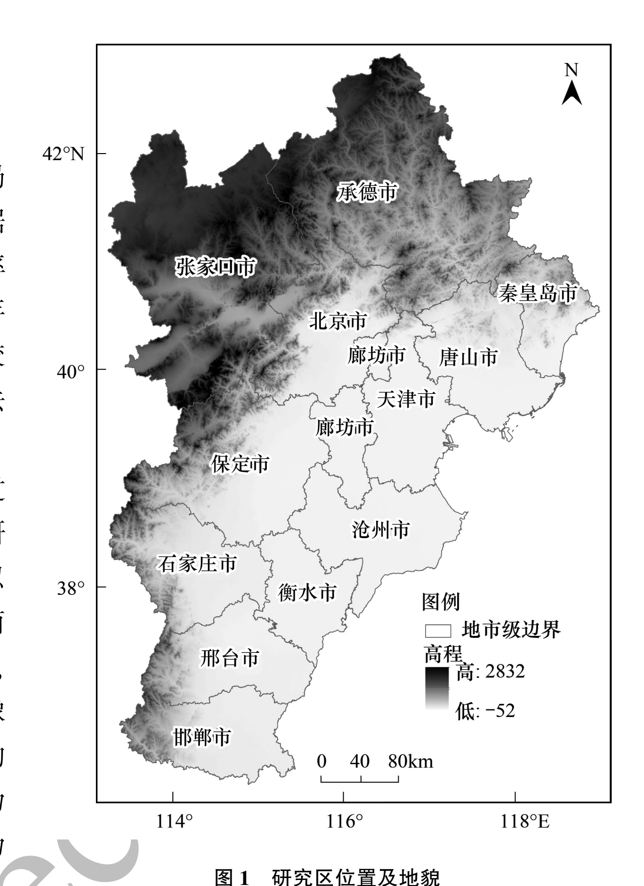



图 1　研究区位置及地貌

Fig.1　Location of the studied area and its topography

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

式中,NDVI 为像元的实际 NDVI 值;$NDVI_{veg}$ 为全植被像元对应的 NDVI 值;$NDVI_{soil}$ 为全裸土像元的 NDVI 值。同时,参考中华人民共和国水利部 2008 年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》,将植被覆盖度划分为 4 个等级:<30%(低覆盖度)、30%—45%(中低覆盖度)、45%—60%(中覆盖度)、>60%(高覆盖度)。

本文利用 Matlab 对研究区每个像元的植被覆盖度与年份进行回归分析,定量分析植被覆盖度时间趋势,探讨研究区 2000—2010 年生态质量的时空变化差异。

### 2.2　土地覆盖分类

土地覆盖分类数据选用了 2000 年和 2010 年的 Landsat TM 影像,空间分辨率为 30 m。对 Landsat TM 经地面校正和辐射校正,采用面向对象的分类方法将土地覆盖分为:人工表面、植被、水体和裸地。产品精度为 98%,Kappa 系数为 0.95[26]。本研究采用人工表面(即建设用地)覆盖面积代表城市化的进程和强度。

### 2.3　景观指数选取

土地覆盖/利用构成了景观格局,景观格局可以用景观指数来描述。景观指数能够高度浓缩景观格局信息,定量反映其结构组成和空间配置方面的特征[27]。本文通过计算不同植被覆盖度上植被斑块类型指数,定量分析不同植被覆盖度区域植被的面积及破碎化程度,从而解析区域景观格局的变化。本文共选用了 5 个景观格局指标:植被覆盖面积百分比(PLAND)、平均斑块面积(MPS)、斑块密度(PD)、边界密度(ED)和景观形状指数(LSI)(各景观指数模型的计算公式详见文献[27]),用以表征植被的覆盖比例、平均面积、形状等方面,以及景观斑块的异质性及格局,能很好阐述斑块的规模、分布状况和景观的破碎化程度[28]。例如,斑块面积越小,斑块密度越大,破碎化程度越高;另破碎化与斑块形状有关,相同面积斑块,形状越简单,其破碎化程度越低。本文首先对 2000、2010 年不同等级植被覆盖度区域矢量化,进而结合土地覆盖数据,对不同植被覆盖度上植被景观格局的变化进行分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地城市化

2000—2010 年京津冀城市群人工表面增长迅速，城市化进程显著（图 2,表 1）。人工表面面积从 2000 年的 $1.79\times10^4$ $km^2$增至 2010 年的 $2.16\times10^4$ $km^2$，增幅高达21.16%。由于城市的扩张，城市周围大量耕地转为人工表面，其中减少的耕地转出为人工表面所占比例达到 55.32%（表 1）。由此可以看出，建设用地急剧扩张，耕地资源快速减少，城市化进程显著是该时期京津冀城市群土地变化的一大特点。城市群的人工表面变化空间差异明显，其中北京、天津和石家庄等大中型城市人工表面扩张迅速(图 2)。

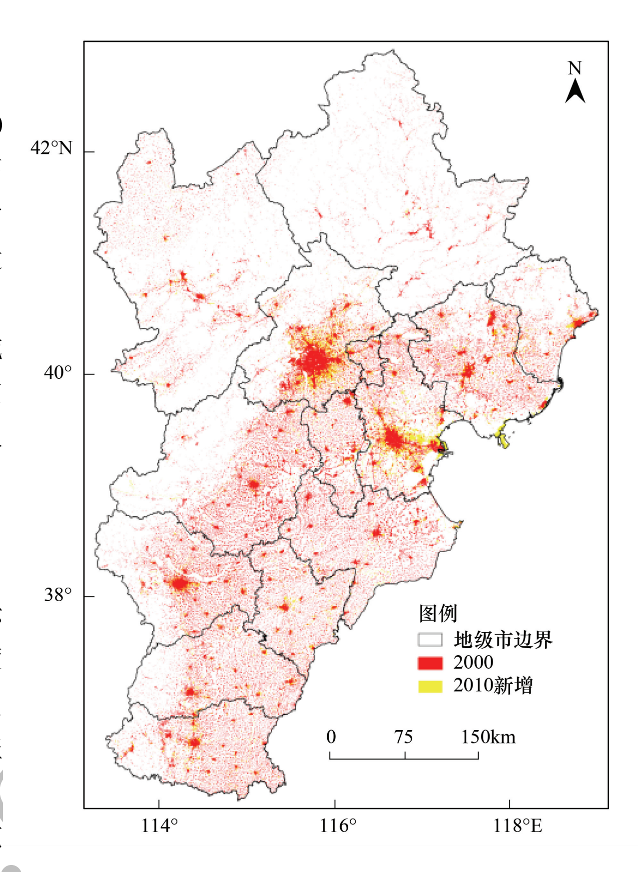



**图 2 2000—2010 年京津冀城市群人工表面空间变化**

**Fig.2 Spatial distribution of built-up lands and their changes in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2010**

### 3.2 植被覆盖度的时空动态

#### 3.2.1 植被覆盖度的年际变化及时空动态分布

2000—2010 年，京津冀地区平均植被覆盖度年际变化相对稳定(幅度范围:44.9%—48.8%)，存在小幅度增减变化:2001、2006 和 2009 年有明显下降，2000、2004、2008 和 2010 年相对较高。11 年间平均植被覆盖度整体呈上升趋势，但并不显著($P=0.46$)(图 3)。

从时空变化来看，2000—2010 年间，61.84%的研究区域植被覆盖度呈增加趋势，14.52%的地区有显著增加($P<0.05$)。显著增加的区域主要是人类活动较少的林地自然生长区，集中分布于京津冀的沧州、衡水以及燕山-太行山山脉。该区域植被覆盖度的增加也与京津风沙源治理工程、退耕还林和封山育林政策的实施有关[29-30]。而植被覆盖度显著下降的区域占 5.96%，主要分布在北京、天津、石家庄、唐山和保定等城市的周边区域，这些区域在快速城镇化过程中，大量耕地和草地被挤占，转变为建设用地；此外，张家口坝上地区，由于过度放牧和过度开垦等人为因素影响，草原生态系统破坏严重，导致其植被覆盖度显著下降，荒漠化日益严重(图 4)。

**表 1 土地覆盖变化转移矩阵及相对变化率(2000—2010 年)/$km^2$**

**Table 1 Conversion matrix and relative change rates of land cover types in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2010**

| 2000 年 | 2010 年 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 林地 Woodland | 草地 Grassland | 水体 Water | 耕地 Cropland | 人工表面 Build-up land | 其他 Other land | 总量 Total |
| 林地 Woodland | 70068.33 | 29.03 | 10.10 | 114.08 | 89.09 | 3.23 | 70313.86 |
| 草地 Grassland | 210.81 | 18387.51 | 25.91 | 4059 | 162.65 | 16.34 | 18843.80 |
| 水体 Water | 43.02 | 129.38 | 5561.84 | 269.67 | 491.24 | 150.66 | 6645.81 |
| 耕地 Cropland | 1266.94 | 1349.40 | 351.26 | 95517.59 | 3111.19 | 33.45 | 101629.83 |
| 人工表面 Build-up land | 13.58 | 41.66 | 12.44 | 52.60 | 17740.58 | 1.98 | 17862.84 |
| 其他 Other land | 4.33 | 27.30 | 50.04 | 10.65 | 47.51 | 493.22 | 633.04 |
| 总量 Total | 71607.00 | 19964.28 | 6011.60 | 96005.17 | 21642.25 | 698.87 | 215929.18 |
| 变化 Change | 1293.15 | 1120.48 | 634.21 | −5624.66 | 3779.41 | 65.83 | — |
| 变化率 Rate of change/% | 1.84 | 5.95 | 9.54 | −5.53 | 21.16 | 10.40 | — |

### 4.2.2　不同等级植被覆盖度的变化分析

京津冀地区以中植被覆盖度和中低植被覆盖度为主,面积分别占区域植被面积的 42.08%、30.32%,是研究区植被覆盖的主体;而高植被覆盖度和低植被覆盖度占到 16.25%和 11.35%(图 5)。2000—2010 年不同等级覆盖度的植被变化趋势不同。高覆盖度植被变化相对剧烈,呈减少趋势;分布于城市周边的高覆盖度植被大面积转变为中等覆盖度植被,转化面积高达 18252.56 km$^2$。中覆盖度植被所占面积从 37.22% (75323.38 km$^2$)增加至 42.29%(91276.13 km$^2$);一系列相关的措施如封山育林、建设防护林体系、退耕还林等生态工程成效明显,使得 18407.44 km$^2$ 中低植被覆盖度转为中植被覆盖度。

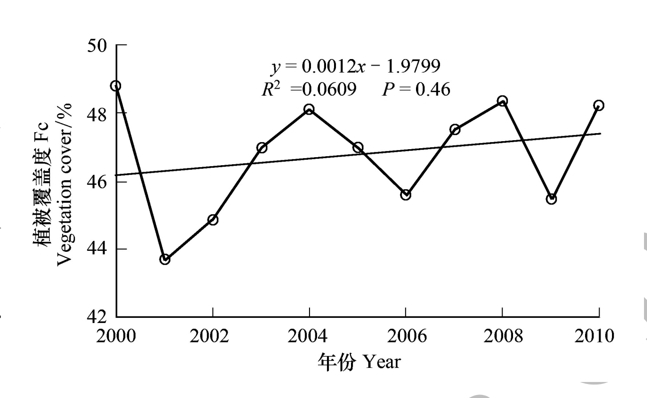



图 3　2000—2010 年京津冀地区年均植被覆盖度时间动态变化

Fig. 3　Variation of annual vegetation cover (Fc) from 2000 to 2010

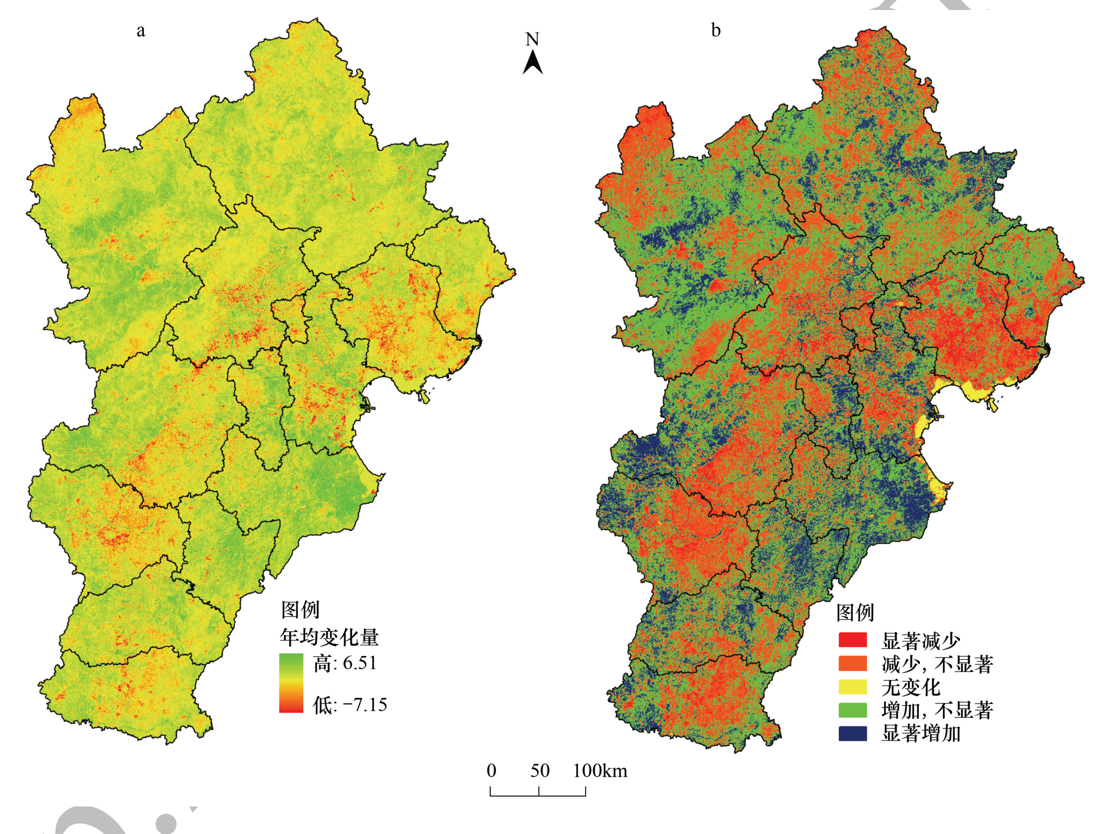



图 4　2000—2010 年京津冀植被覆盖度变化趋势空间分布图

Fig.4　Spatial distribution of trends of annual vegetation cover from 2000 to 2010

(a)年均变化量空间分布;(b)变化趋势的空间分布

而中低植被覆盖度减少了15952.75 km$^2$(0.69%)。低植被覆盖度增加了 0.49% (229.81 km$^2$),主要是由于城市建设用地的扩张导致城市中心及周边低植被覆盖度区域面积扩大。从空间分布图可以看出低植被覆盖度区域主要分布在大中城市,即北京、天津、唐山和石家庄等建成区及边缘地带。另张家口坝上地区,生态环境脆弱,人为干扰活动较强,其植被覆盖度也以低植被覆盖度为主(图 5、6)。

### 4.2.3　植被覆盖度空间格局变化

根据所选的景观指数,京津冀地区不同植被覆盖度的景观格局及其变化存在异同(图 7)。2000 年植被覆盖面积百分比(PLAND)从高到低依次为:中覆盖度>中低覆盖度>高覆盖度>低覆盖度;平均斑块面积(MPS)从高到低:高覆盖度>中覆盖度>中低覆盖度>低覆盖度;斑块密度(PD)和边缘密度(ED)从高到低:低

覆盖度>中低覆盖度>中覆盖度>高覆盖度;景观形状指数(LSI)从高到低依次为:中覆盖度>中低覆盖度>高覆盖度>低覆盖度。整体上,2000 年低植被覆盖度区域植被斑块面积小,景观破碎化高;而高植被覆盖度区域景观格局则相反。

从 2000 到 2010 年,低、中等覆盖度植被斑块面积百分比(PLAND)、平均斑块面积(MPS)呈上升趋势,斑块密度(PD)和边缘密度值(ED)下降,景观形状指数变化幅度较小,略有下降,表明低、中等覆盖度区域的景观破碎度减小,空间分布上相对集中。其中尤以低覆盖度的景观格局变化幅度大(如 MPS、PD 和 ED)。这些低植被覆盖度的区域主要是城市,其植被景观格局的变化可能与城市绿地建设有关。随着人们对城市绿地提供的生态服务功能的日益重视,加大了城市绿地建设的力度,使得绿地面积有所增加,景观破碎化降低,生态质量有所改善。而 11 年间中低、高覆盖度景观格局变化与低、中覆盖度景观格局变化正好相反,尤其高植被覆盖度平均斑块面积下降幅度最大,说明其景观破碎化增强,形状更加复杂。

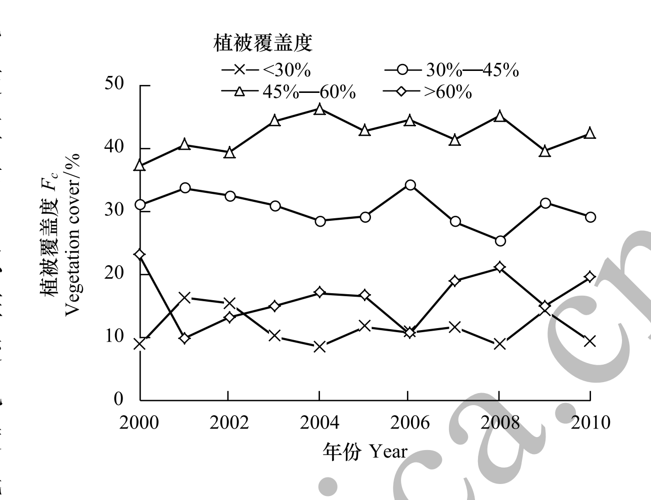



图 5 2000—2010 年京津冀地区不同等级植被覆盖度动态变化

Fig. 5 Variations of different levels of vegetation cover levels from 2000 to 2010

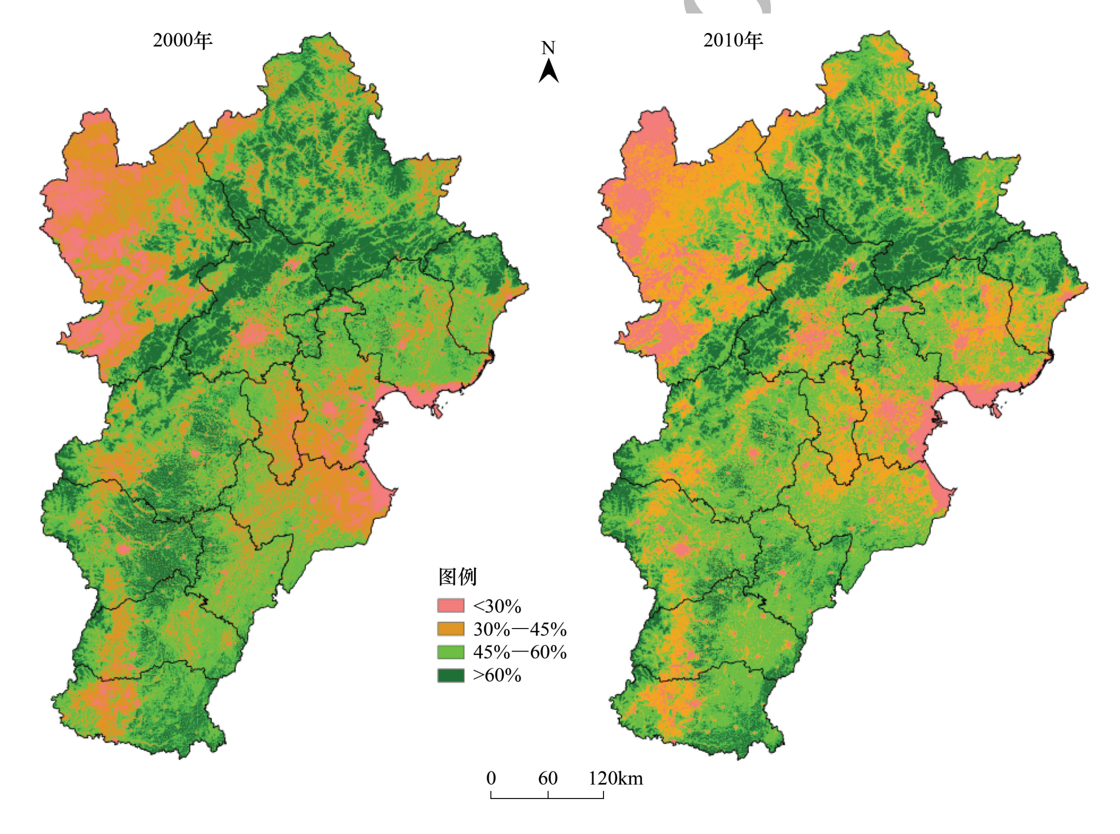



图 6 2000 和 2010 年京津冀植被不同等级覆盖度空间分布

Fig.6 Spatial distribution of different levels of vegetation cover (Fc) in 2000 and 2010

**4.3** 城市化对植被覆盖度的影响

通过量化城市化率与植被覆盖度的相关性,分析了城市化进程与植被覆盖度变化的关系。京津冀地区城市化率从 2000 年的 8.28%增至 2010 年的 10.03%;而平均植被覆盖度从 48.80%降至 48.23%,相反低值被覆

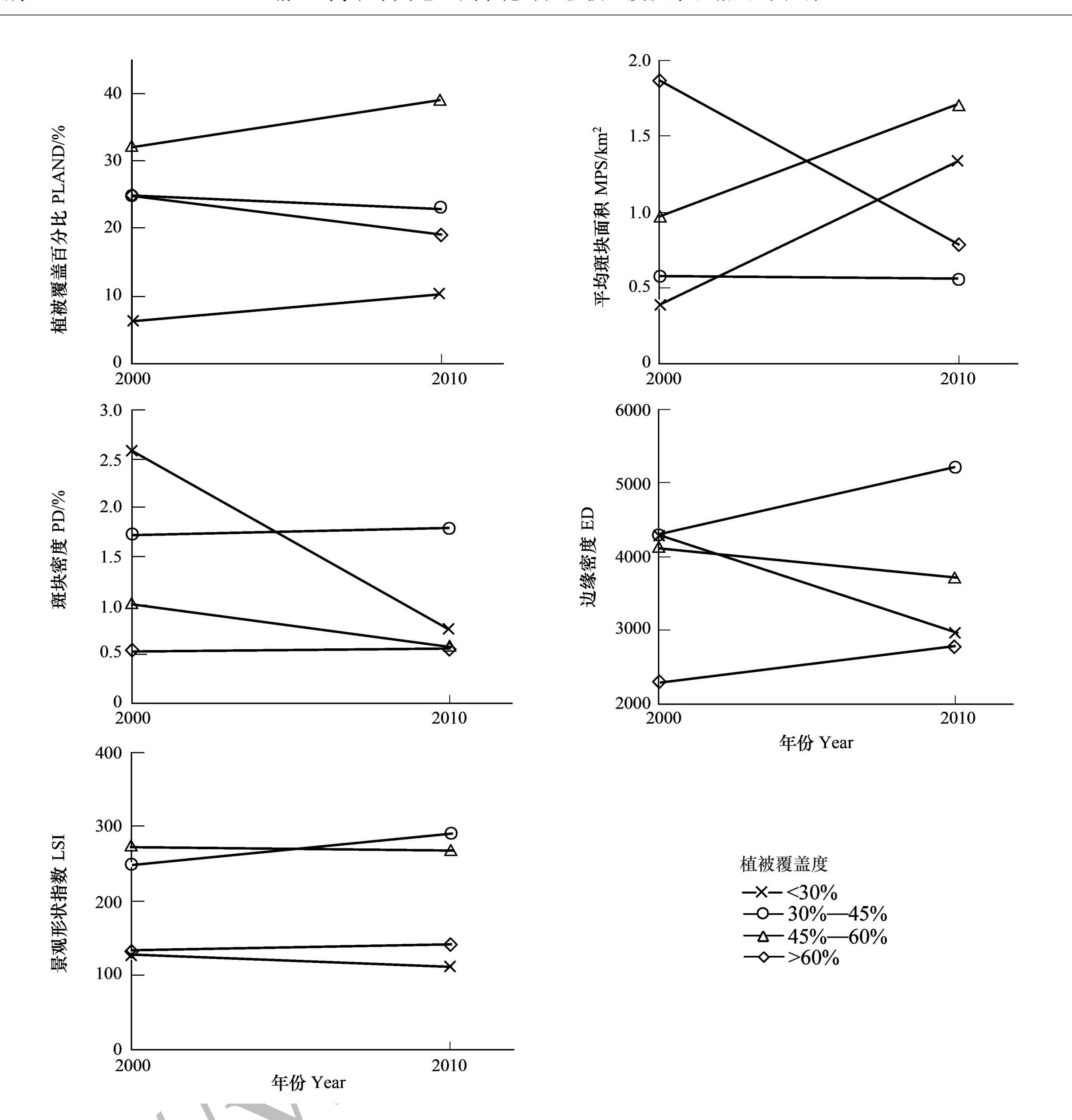



**图 7　京津冀不同等级植被覆盖度上的景观格局指数**

**Fig.7　Landscape metrics of different levels of vegetation cover (Fc) in 2000 and 2010**

盖度比例则从 2000 年的 8.78%升至 9.27%。研究表明随着京津冀整体城市化水平的提高,平均植被覆盖度出现了下降趋势,但低植被覆盖度所占比例有所增加,低覆盖度植被主要分布在城市区域,低覆盖度值被的面积一定程度上反映了城市绿地的面积。由于各行政单元间城市化水平及生态工程实施程度不同,各地级市的城市化率及植被变化速率亦不相同。2000—2010 年间,13 个地级市的城市化率均呈增加趋势,其中天津的城市化进程最快,增率达 7.80%;承德和张家口的城市化增率最慢,均不足 0.5%。平均植被覆盖度,除沧州和衡水呈增加趋势(均在 5%左右),其他地级市有所下降或者不变;13 个地级市中低值被覆盖度的面积,唐山增加比例最高(6.93%),其次为天津、石家庄和秦皇岛,而沧州、廊坊等市低值被覆盖度面积比例则有减少趋势(表 2)。

通过横向比较不同地级市城市化水平与平均植被覆盖度、低覆盖度所占比例的相关关系(张家口,沧州除外),发现城市化率与平均植被覆盖度呈负相关关系,但不显著($P=0.08$);而城市化率与低覆盖度比例呈显著正相关($P<0.001$)(表 3)。这说明,城市化较高的城市,平均植被覆盖度相对较低,而低覆盖度植被所占面积百分比是随着城市化率的提高而增加的。

表 2 京津冀及地级市 2000、2010 年城市化率与植被覆盖度/%

Table 2 The urbanization rate and vegetation coverage of each city in 2000 and 2010 Beijing-Tianjin-Hebei region

| | 2000 | | | 2010 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 城市化率 Urbanization rate | 平均植被覆盖度 Mean vegetation coverage | 低植被度比例 Percent cover of low vegetation coverage | 城市化率 Urbanization rate | 平均植被覆盖度 Mean vegetation coverage/% | 低植被覆盖度比例 Percent cover of low vegetation coverage/% |
| 京津冀 | 8.28 | 48.80 | 8.78 | 10.03 | 48.23 | 9.27 |
| 北京 | 13.31 | 56.37 | 6.12 | 18.05 | 53.46 | 7.93 |
| 天津 | 15.35 | 39.25 | 21.61 | 23.15 | 39.14 | 25.14 |
| 石家庄 | 11.44 | 54.86 | 2.86 | 12.98 | 50.63 | 5.33 |
| 保定 | 9.58 | 53.30 | 1.99 | 10.32 | 51.56 | 3.0[illegible] |
| 廊坊 | 14.69 | 43.49 | 10.25 | 17.33 | 44.10 | 6.72 |
| 唐山 | 12.66 | 46.53 | 10.24 | 16.15 | 41.12 | 17.17 |
| 沧州 | 11.56 | 39.69 | 17.25 | 12.60 | 44.46 | 8.66 |
| 衡水 | 11.16 | 49.71 | 2.56 | 13.21 | 54.20 | 1.76 |
| 秦皇岛 | 6.83 | 53.64 | 2.96 | 8.47 | 50.83 | 5.43 |
| 承德 | 1.39 | 55.43 | 1.80 | 1.45 | 55.71 | 1.30 |
| 张家口 | 2.85 | 38.84 | 29.99 | 3.22 | 38.59 | 28.50 |
| 邢台 | 10.75 | 50.73 | 2.64 | 12.41 | 50.97 | 3.58 |
| 邯郸 | 11.71 | 51.46 | 5.17 | 13.70 | 51.74 | 4.72 |

表 3 京津冀地级市城市化率与植被覆盖度的相关性

Table 3 The correlation between urbanization and vegetation cover of each city, Beijing-Tianjin-Hebei region

| | | 平均植被覆盖度 Mean vegetation coverage | 低植被覆盖度比例 Percent cover of low vegetation coverage |
|---|---|---|---|
| 城市化率 | Pearson Correlation | -0.476 | 0.805 ** |
| Urbanization rate | Sig. | 0.08 | 0.0005 |

** $P<0.01$

## 5 讨论

### 5.1 京津冀地区城市化过程对植被动态的影响

本文以京津冀这一城市化发展迅速,人类活动密集且复杂,土地利用变化过程显著的地区为研究对象,从植被覆盖度的动态变化揭示了京津冀生态质量的变化,并从区域尺度关注了城市化所引起的生境质量时空分异性,可为研究区生态建设评估和可持续城市化规划提供科学依据。

总体上,京津冀城市群地区生境质量呈现北部较高,西部、东南部较低的空间格局。高覆盖度植被主要分布在燕山太行山山脉地区,低覆盖度植被则分布于北京、天津、石家庄、唐山和保定等城市核心区的周边区域及张家口坝上地区。研究区以中低和低植被覆盖度为主,2000—2010 年 11 年间上升趋势并不显著;从植被覆盖度的时空及等级变化来看,生态工程和城市化是植被覆盖度变化的主要驱动因子。沧州、衡水等通过沿海防护林工程及退耕还林工程的实施,提高了区域的植被覆盖,改善了生态环境;自 2000 年以来随着京津风沙源治理工程开展,通过植被保护,小流域及草地治理,生态移民等措施,使得区域植被覆盖度有所提高,尤其是张家口坝上地区,低植被覆盖度面积有所减少[30-31]。但在大中城市,城市边缘地带则出现了植被覆盖度降低的趋势,主要表现为北京、天津、唐山、石家庄等城市周边植被覆盖度降低。建设用地的扩张导致城市边缘植被覆盖度的降低,尤其是城市化使城市周围大量高质量的耕地、林地被侵占,造成区域高覆盖植被面积下降,低覆盖度植被面积有所扩大。城市的扩张,城镇建设的加快及城市化率的提高,对整个植被覆盖度的影响较大。

大量研究表明,土地利用变化,尤其是人类活动驱动下土地利用类型的变化,会直接改变植被覆盖,从而影响区域生态质量[11,13,32]。快速的城市化导致土地利用发生剧烈变化,城市周边大量耕地转为人工表面,京津冀地区呈现出建设用地急剧扩张、耕地资源快速减少的特点。城市化与区域平均植被覆盖度呈现负相关关系,而与低植被覆盖度的植被覆盖比例有显著的正相关关系。低植被覆盖度的区域在一定程度表征了城市区域,反映了城市中心的生境质量。本研究发现,2000—2010 年间,在低覆盖度区域,植被斑块所覆盖的面积比有所提升,绿地斑块破碎化程度明显降低。城市绿地在城市中提供诸如固碳效应、吸收污染物、降温增湿等生态服务功能,以及休闲娱乐等文化功能[33-36],可有效改善城市生态质量和人居环境。低覆盖度区域(主要为城市区域)植被覆盖比例的提高,可能与城市绿地建设在城市用地的规划和建设中逐渐受到重视有关。

### 5.2　京津冀地区城市化对植被景观及生态质量的影响

随着城市化的快速推进,人类活动剧烈地改变了地表景观和景观格局,使得区域景观呈现"高度破碎化"。城市扩张引起的建设用地的大规模增长,是导致该区域景观破碎化程度的加剧的主要因素。2000—2010 年京津冀地区植被面积有所增加(2000 年的 41.28%增至 2010 年的 42.40%);从区域植被斑块密度上升和平均斑块面积下降来看,整个区域的植被破碎化程度增强,尤其是高植被覆盖度区域平均斑块面积下降幅度急剧,表明在区域景观尺度上,2000—2010 年京津冀地区进入快速城市化发展状态,城市的扩张引起景观格局的剧烈改变,其显著变化是景观破碎化的增加。表 1 显示大量耕地、自然等连续的景观类型被建设用地等人工表面替代,从而造成生境破碎化。景观破碎化程度的加剧,可能导致自然生境的破坏、从而影响(如简化)物种的组成,并可能改变生态系统的能流、物流和养分循环的过程,进而影响了生态系统重要的服务功能[37]。例如,生境破碎化的直接效应是会减少了物种扩散和建立种群的机会,进而导致生物多样性下降[38]。同时,城市区域(低值被覆盖度区域)的植被景观破碎化减小,在一定程度上表明城市绿地景观格局趋好,其对改善城市生态人居环境具有重要的应用价值。

## 6　结论

本文利用 GIS/RS 技术,基于 MODIS 和 Landsat TM 数据,对京津冀 2000—2010 年城市化进程和植被覆盖度的时空动态进行分析,定量揭示了植被覆盖度结构、景观格局的演变,及城市化对区域植被的影响,主要结论如下:

(1)2000—2010 年,人工表面用地急剧扩张,耕地资源快速减少,城市化进程显著是京津冀城市群土地变化的一大特点。

(2)京津冀地区整体植被覆盖度呈增加趋势但不明显($P=0.46$),存在明显的时空动态差异。生态工程区植被覆盖度上升,说明京津风沙源治理工程、沿海防护林工程及退耕还林等生态环境改善措施取得明显的成效。但城市化带来的城市周边大量耕地转为人工表面,植被覆盖度明显下降。

(3)在覆盖度结构上形成了以中低和中植被覆盖度为主导的格局。不同等级覆盖度的变化主要集中在高、中低覆盖度向中覆盖度转化,中低覆盖度向低覆盖度植被转化,低覆盖度植被面积逐步增加。从景观空间格局变化来看,中低、高覆盖度区域景观更加破碎,而低、中等覆盖度区域的植被面积增加,景观破碎度减小;尤其是低植被覆盖度为主的城市区域,景观格局变化幅度大,表现为绿地面积有所增加,景观破碎化程度降低,生态质量有所改善。

(4)在整个研究区范围,城市化对区域植被覆盖度存在负面影响,表现为城市化程度与区域平均植被覆盖度存在负相关($P=0.08$);但是在低植被覆盖度的区域(主要为城市区域),城市化程度与植被覆盖面积呈显著正相关($P<0.001$),表明城市区域在城市化进程中植被覆盖面积有所提高,生态质量有所改善,与城市化过程中,日益重视城市绿地的建设有关。

**参考文献(References):**

[1]　Bai X M, McAllister R R J, Beaty R M, Taylor B. Urban policy and governance in a global environment: complex systems, scale mismatches and

public participation. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2010, 2(3): 129-135.
[2] Grimm N B, Faeth S H, Golubiewski N E, Redman C L, Wu J G, Bai X, Briggs J M. Global change and the ecology of cities. Science, 2008, 319(5864): 756-760.
[3] 陈玉娟, 管东生, Peart M R. 珠江三角洲快速城市化对区域植被固碳放氧能力的影响研究. 中山大学学报: 自然科学版, 2006, 45(1): 98-102.
[4] Carey R O, Migliaccio K W, Li Y C, Schaffer B, Kiker G A, Brown M T. Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida. Ecological Indicators, 2011, 11(5): 1093-1104.
[5] Chen J. Rapid urbanization in China: A real challenge to soil protection and food security. Catena, 2007, 69(1): 1-15.
[6] Li M S, Zhu Z L, Vogelmann J E, Xu D, Wen W S, Liu A X. Characterizing fragmentation of the collective forests in southern China from multitemporal Landsat imagery: a case study from Kecheng district of Zhejiang province. Applied Geography, 2011, 31(3): 1026-1035.
[7] Li Y F, Li Y, Zhou Y, Shi Y L, Zhu X D. Investigation of a coupling model of coordination between urbanization and the environment. Journal of Environmental Management, 2012, 98: 127-133.
[8] Tang J M, Bu K, Yang J C, Zhang S W, Chang L P. Multitemporal analysis of forest fragmentation in the upstream region of the Nenjiang River Basin, Northeast China. Ecological Indicators, 2012, 23: 597-607.
[9] 杨思, 孔德良. 基于道路网络特征的建设用地扩张及其对林地景观的影响——以深圳市为例. 生态环境, 2012, 21(2): 286-292.
[10] Chen X, Zhou W Q, Pickett S T A, Li W F, Han L J, Ren Y F. Diatoms are better indicators of urban stream conditions: A case study in Beijing, China. Ecological Indicators, 2016, 60: 265-274.
[11] 朴世龙, 方精云. 最近18年来中国植被覆盖的动态变化. 第四纪研究, 2001, 21(4): 294-302.
[12] 张萍, 彭道黎, 李万德, 滑永春. 延庆县植被覆盖动态变化监测. 湖北农业科学, 2009, 48(5): 1132-1136.
[13] 王静, 王克林, 张明阳, 段亚锋. 南方丘陵山地带NDVI时空变化及其驱动因子分析. 资源科学, 2014, 36(8): 1712-1723.
[14] 李红, 李德志, 宋云, 周燕, 柯世朕, 王春叶, 孙玉冰, 李立科, 赵鲁青. 快速城市化背景下上海崇明植被覆盖度景观格局分析. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2009, (6): 89-100.
[15] 刘林, 马安青, 马启敏. 滨海半城市化地区植被覆盖度的时空变化——以青岛市崂山区为例. 环境科学与技术, 2011, 35(1): 178-185.
[16] 梁尧钦, 曾辉, 李菁. 深圳市大鹏半岛土地利用变化对植被覆盖动态的影响. 应用生态学报, 2012, 23(1): 199-205.
[17] 王钊齐, 李建龙, 杨悦, 李辉, 吴敏, 王轲, 史雪娟, 史伟成, 谢伯军. 基于遥感的城市生态环境质量动态变化定量评价——以江苏省宜兴市为例. 宁夏大学学报: 自然科学版, 2016, 1: 1-8.
[18] 甘春英, 王兮之, 李保生, 梁钊雄, 李志文, 温小浩. 连江流域近18年来植被覆盖度变化分析. 地理科学, 2011, 31(8): 1019-1024.
[19] 曹永翔, 刘小丹, 张克斌, 陈明. 青海省都兰县察汗乌苏绿洲植被覆盖度变化研究. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1267-1272.
[20] 刘宪锋, 杨勇, 任志远, 林志慧. 2000-2009年黄土高原地区植被覆盖度时空变化. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1244-1249.
[21] Sun J Y, Wang X H, Chen A P, Ma Y C, Cui M D, Piao S L. NDVI indicated characteristics of vegetation cover change in China's metropolises over the last three decades. Environmental Monitoring and Assessment, 2011, 179(1/4): 1-14.
[22] 于泉洲, 梁春玲, 刘煜杰, 姜浩, 孙雷刚. 基于MODIS的山东省植被覆盖时空变化及其原因分析. 生态环境学报, 2015, 24(11): 1799-1807.
[23] Qian Y G, Zhou W Q, Yu W J, Pickett S T A. Quantifying spatiotemporal pattern of urban greenspace: new insights from high resolution data. Landscape Ecology, 2015, 30(7): 1165-1173.
[24] 王坤, 周伟奇, 李伟峰. 城市化过程中北京市人口时空演变对生态系统质量的影响. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2137-2144.
[25] 李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 周为峰. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算. 资源科学, 2004, 26(4): 153-159.
[26] Yu W J, Zhou W Q, Qian Y G, Yan J L. A new approach for land cover classification and change analysis: Integrating backdating and an object-based method. Remote Sensing of Environment, 2016, 177: 37-47.
[27] 邬建国. 景观生态学: 格局过程尺度与等级(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007.
[28] Peng J, Wang Y L, Zhang Y, Wu J S, Li W F, Li Y. Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. Ecological Indicators, 2010, 10(2): 217-223.
[29] 胡乔利, 齐永青, 胡引翠, 张玉翠, 吴成本, 张广录, 沈彦俊. 京津冀地区土地利用/覆被与景观格局变化及驱动力分析. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1182-1189.
[30] 吴建生, 曹祺文, 石淑芹, 黄秀兰, 卢志强. 基于土地利用变化的京津冀生境质量时空演变. 应用生态学报. 2015, 26(11): 3457-3466.
[31] 王荣华. 京津冀都市圈植被覆盖和城市热岛时空变化特征分析[D]. 北京: 首都师范大学, 2008.

[32] Xin Z B, Xu J X, Wei Z. Spatiotemporal variations of vegetation cover on the Chinese Loess Plateau (1981-2006): Impacts of climate changes and human activities. Science in China Series D: Earth Sciences, 2008, 51(1): 67-78.

[33] Groenewegen P P, Van den Berg A E, de Vries S, Verheij R A, Vitamin G: Effects of green space on health, well-being, and social safety. BMC Public Health, 2006, 6: 149-149.

[34] Wu J G. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. Landscape Ecology, 2013, 28(6): 999-1023.

[35] Wolf K L, Hoousley E. Environmental equality: providing nearby nature for everyone. Annapolis: TKF Foundation, 2014.

[36] Zhou W Q, Qian Y G, Li X M, Li W F, Han L J. Relationships between land cover and the surface urban heat island: seasonal variability and effects of spatial and thematic resolution of land cover data on predicting land surface temperatures. Landscape Ecology, 2014, 29(1): 153-167.

[37] 仇江啸, 王效科, 逯非, 欧阳志云, 郑华. 城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例. 生态学报, 2012, 32(9): 2659-2669.

[38] 武晶, 刘志民. 生境破碎化对生物多样性的影响研究综述. 生态学杂志, 2014, 33(7): 1946-1952.